26282 DUP.

D. Spino

IGM85-301-205
CNRC 26282

RAPPORT D'ESSAIS SUR ELECTRODES DE GRAPHITE REVETUES A L'ACIERIE STELCO EDMONTON, ALBERTA

par:

D. SPINO et H. LEVERT

INSTITUT DE GENIE DES MATERIAUX
CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA
75 de Mortagne,
Boucherville, Qué., Canada, J4B 6Y4

Avril 1985

REVETEMENT REFRACTAIRE POUR ELECTRODE EN GRAPHITE

"Rapport d'essais à l'Aciérie STELCO, Edmonton, Alberta"

Dans le cadre du projet 8351-301-077, "Revêtement réfractaire pour électrodes de graphite", des essais réels ont eu lieu durant la semaine du 18 mars 1985 à l'aciérie STELCO, Edmonton, Alberta.

Les essais comprenaient deux étapes distinctes qui consistaient dans un premier temps, à revêtir des électrodes à la compagnie PLASMARCO, et dans un deuxième temps, à observer le comportement du revêtement appliqué sur les électrodes une fois mises en service sur un four à arc électrique à l'aciérie STELCO.

1.0 APPLICATION DU REVETEMENT SUR LES ELECTRODES

Deux électrodes en graphite (UCAR AGX) de 18 po.diam. X 7 pi.long., identifiées NRC-1 et NRC-2, dont la surface avait été usinée au préalable par Stelco, ont été revêtues par projection par plasma dans des conditions similaires à celles établies à l'IGM sur une section d'électrodes de 20 po.diam. X 32 po.long. en prévision d'essais à l'aciérie Stelco, Contrecoeur, Qué.

1.1 Paramètres de projection

Les paramètres de projection pour les poudres de titane et d'Al-35% SiC sont présentés au Tableau I.

On doit noter que la vitesse de rotation de l'électrode et la vitesse d'avance de la torche n'ont pu être réglées avec autant de précision qu'à l'IGM, à cause d'un manque de contrôle de l'équipement de Plasmarco à faible régime. De ce fait, il est possible que l'épaisseur du revêtement ait variée sur la

longueur des électrodes. Néanmoins, il est peu probable qu'elle ait variée en deçà des limites fixées (0.012 - 0.020 po.).

1.2 Epaisseur du revêtement

Basé sur les travaux d'orientation effectués à l'IGM, l'épaisseur moyenne du revêtement appliqué sur les électrodes peut être calculée de façon approximative à partir des quantités de poudres projetées.

L'épaisseur moyenne du revêtement appliqué sur la section de 20 po. diam. X 32 po. long. à l'IGM a été mesurée comme étant 0.014 po. Une vue macroscopique du revêtement est montrée à la figure 1.

Donc, tel que mentionné ci-haut, par calculs, on obtient des épaisseurs moyennes de revêtement d'environ 0.012 po. soit la limite inférieure fixée.

Les détails des calculs sont donnés au tableau II.

2.0 EVALUATION DU REVETEMENT

L'évaluation du revêtement s'est faite alors que les deux électrodes NRC-1 et NRC-2 étaient consommées une à la suite de l'autre sur le four "E", phase "A", à l'aciérie Stelco. La puissance maximum par phase était environ 25 méga-watts et la température de l'acier à la coulée était environ 1500°C.

2.1 Montage des électrodes

Une première électrode (NRC-2) a été montée sur une colonne d'électrodes, tel qu'illustré à la figure 2 a). Après sa consommation initiale, alors que l'électrode précédente a été presqu'entièrement consommée, comme le montre la figure 2 b), la

deuxième électrode a été installée sur la colonne d'électrodes à la suite de la première, tel que l'on peut le voir à la figure 2 c).

2.2 Régime de consommation

La première électrode (NRC-2) a été consommée en partie durant une période en service initiale d'environ 14 hres 50 min., pendant les fusions Nos. 15201 à 15205. La consommation finale de cette électrode a eu lieu pendant les fusions numéros 15212 à 15217, alors que la deuxième électrode (NRC-1) subissait sa consommation initiale d'une durée d'environ 20 hres. 50 min. La période finale de la consommation de cette deuxième électrode n'a pas été enregistrée.

Le tableau III donne les détails pertinents à chaque fusion durant la mise en service initiale pour l'électrode NRC-2, soit les fusions 15101 à 15205. Les données détaillées pour les fusions subséquentes n'ont pas été recueillies.

Il est à noter que la première électrode a été mise en service alors que le four était rempli d'acier en fusion rappelé de la coulée continue. Il est possible que le revêtement ait été exposé à des conditions différentes de celles qui prévalent lorsqu'une électrode est mise en service à la suite d'un chargement de rebut comme ce fut le cas pour la deuxième électrode. Dans le premier cas, le choc thermique pourrait être plus violent.

2.3 Comportement du revêtement

Dans le cas de la première électrode (NRC-2), on a observé que le revêtement était intact après une période en service de 45 minutes alors que se terminait la première fusion (15201).

En cours de la fusion subséquente (15202), on a observé que la section d'électrode, se retrouvant à l'intérieur du four, était totalement dénudée. La durée en service à ce moment était de 3 hres. 30 min.

On peut en conclure que pour cette électrode, la détérioration du revêtement s'est amorcée durant la première partie de la deuxième fusion. La balance du revêtement était presque disparu à la fin de cette fusion.

Dans le cas de la deuxième électrode (NRC-1), la première défaillance du revêtement est apparue après une durée en service de 2 hres 20 min. A ce moment, au cours de la fusion No. 15212, on observait des "boursoufflures" au niveau de l'électrode situé au dessus de la voûte du four, soit à la demi-longueur de l'électrode. Cependant, à la fin de cette première fusion, on observait que le revêtement était intact près du joint des électrodes NRC 1 & 2, situé dans une zone plus chaude que celle où les "boursoufflures" sont apparues. La durée en service était alors de 4 hres 20 min.

Durant la première partie de la fusion subséquente (No.15213), le revêtement a commencé à décoller aux endroits où nous avions observé des plages noires. A la fin de cette fusion, soit une durée de 7 hres 30 min., il ne restait qu'un collet d'environ 1 - 1½ pi. près de l'électrode supérieure en acier refroidie à l'eau.

2.4- Taux de consommation des électrodes

A la suite de la consommation initiale d'une électrode, soit au moment où une nouvelle électrode doit être ajoutée à la colonne, on procède à la pesée et au mesurage du diamètre à divers niveaux le long de l'électrode partiellement consommée. Les données de la pesée permettent de calculer le taux de consommation de graphite pour l'ensemble de la colonne

d'électrodes par rapport au tonnage d'acier coulé durant la période que la colonne était en service. Les données de diamètre permettent d'évaluer le profil de consommation de l'électrode.

Le tableau V donne les diamètres mesurés à divers niveaux le long des deux électrodes. Il est à noter que les deux électrodes ont été en service pour des durées différentes comme on le voit au tableau IV. Une comparaison directe est impossible. Cependant, les diamètres réduits au niveau 2,3,et 4 pi. pour l'électrode NRC-1, correspondent aux endroits ou les premières défaillances du revêtement ont été observées.

2.5 Comparaison avec les électrodes STELCO

Durant la période du 1 au 17 mars 1985, Stelco a enregistré un taux de consommation d'électrodes de 10.3 lbs/tonne d'acier coulé comme l'indique le tableau VI.

Comparativement aux taux obtenus pour les électrodes d'essais, les gains provenant de l'application du revêtement developpé à l'IGM sont de l'ordre de 10%.

TABLEAU I

PARAMETRES DE PROJECTION POUR POUDRES DE TITANE ET D'AL-SiC 35% UTILISES POUR REVETIR ELECTRODES NRC-1 & NRC-2

PARAMETRE	COUCHE DE TITANE	COUCHE D'AL-SiC
Vitesse de rotation de l'électrode, RPM	30 (1)	
Vitesse d'avance du fusil, po. min.$^{-1}$	0 - 4 (2)	
Distance de projection, po.	3	
Débit de poudre, g. min.$^{-1}$	28	35
Puissance d'arc, Amp., volt.	800, 32	700, 37 [3]
Gaz d'arc, type, lb/po^2, pi^3/hre	Ar, 60, 122	Ar, 50, 106
Gaz auxiliaire	N.A.	H_2,162, 19
Gaz porteur	Ar, 40, 14	
Mode d'injection de la poudre	Externe	
Nombre de passes	1	2
Equipement auxiliaire a)	Jet d'air comprimé, base plasmadyne 30 lbs/po.^{2}	
" " b)	Système de fuite controlée	

(1) Vitesse minimum possible

(2) Vitesse difficilement contrôlable

(3) Paramètres diffèrent de ceux établis à l'IGM.

TABLEAU II

CALCULS D'EPAISSEUR DE REVETEMENT

Note: Pour les calculs on assume que l'efficacité a été la même que lors des travaux d'orientation et on ne tient pas compte des pertes considérées négligeables.

Les calculs tiennent uniquement compte des quantités de poudre (Al-SiC) projetées par rapport aux surfaces revêtues.

A. Données obtenues lors des travaux d'orientation sur la section de 20 po. diam. X 32 po. long.

	Surface revêtue	: 20π X 32	=	2010.6 po.^{2}
	Q.de poudre projectée (Al-SiC)		=	1414.9 g.
donc	Pd par unité de surface	: 1414.9 ÷ 2010.6	=	0.70 g/po.^{2}
	Epaisseur mesurée	: 0.014 po.		

B. Calcul de l'épaisseur moyenne pour l'électrode NRC-1

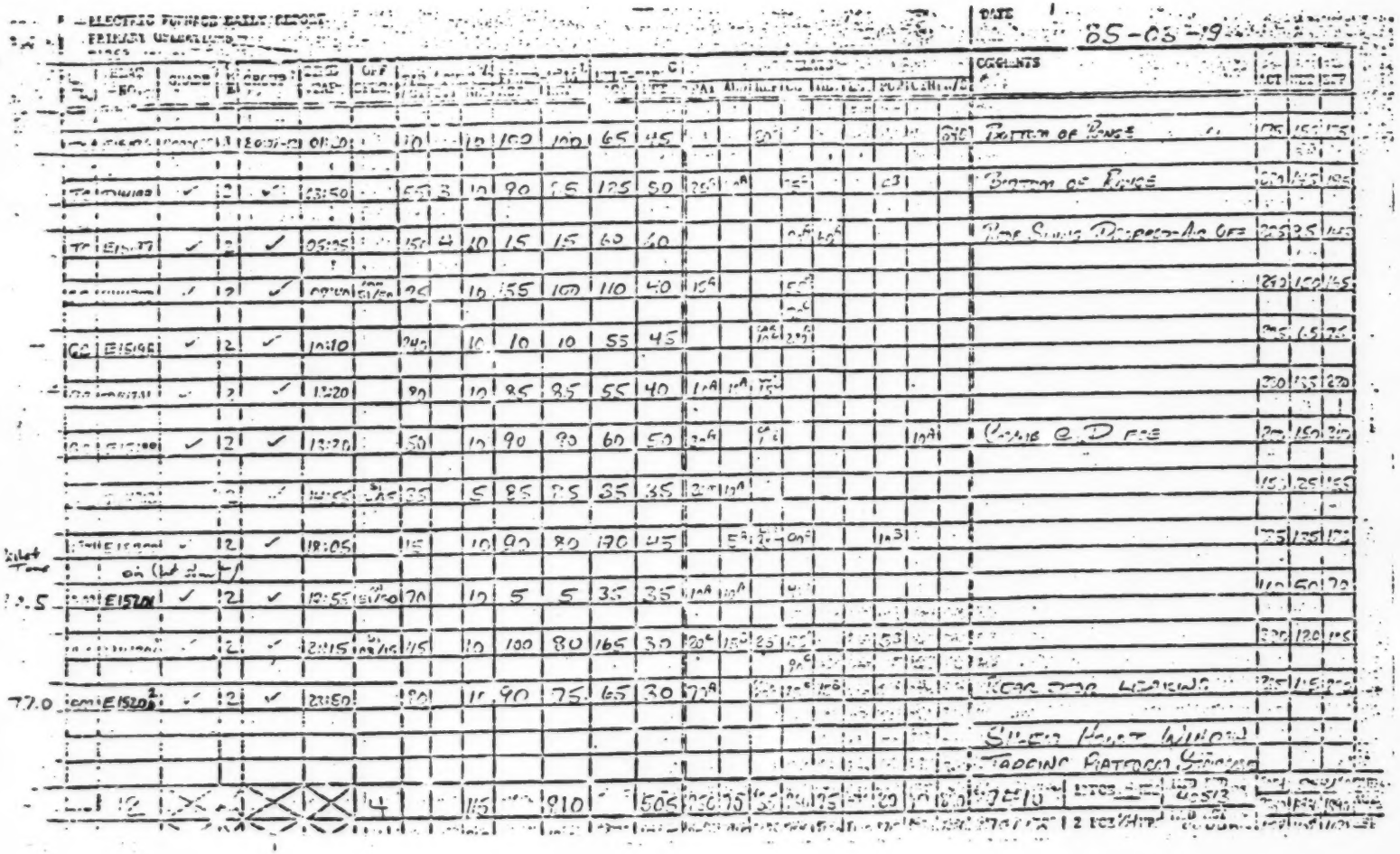
	Surface revêtue	: 18π X 84	=	4750.1 po.^{2}
	Q.de poudre projetée (Al-SiC)		=	2938.0 g.
donc	Pd par unité de surface	: 2938 ÷ 4750.1	=	0.62 g/po.^{2}
	Epaisseur moyenne	: $\frac{0.62}{0.70}$ X 0.014	=	0.0124 po.

C. Calcul de l'épaisseur moyenne pour l'électrode NRC-2

	Surface revêtue	: comme NRC-1		
	Q.de poudre projetée (AL-SiC)		=	2840 g.
donc	Pd par unité de surface	: 2840 ÷ 4750.1	=	0.60 g/po.^{2}
	Epaisseur moyenne	: $\frac{0.60}{0.70}$ X 0.014	=	0.120 po.

TABLEAU III

DONNEES POUR LES FUSIONS NOS. 15201 à 15205



(SUITE)

TABLEAU III

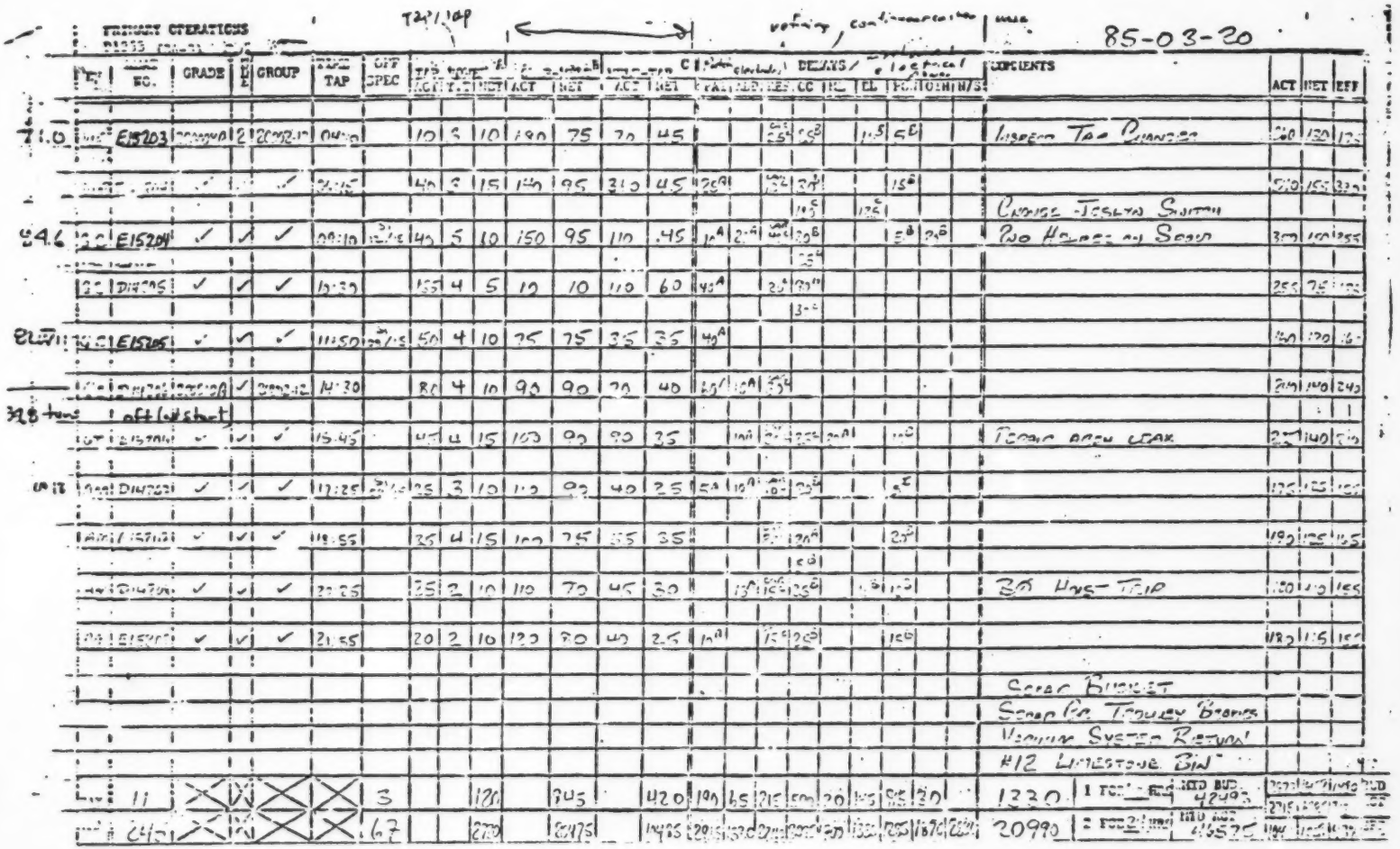


TABLEAU IV

DONNEES DE PESES ET TAUX DE CONSOMMATION DES ELECTRODES

ELECTRODE NRC-2

Poids avant mise en service	:	600 kg
Poids de l'électrode usée (Stelco)	:	580 kg
Poids total de la colonne	:	1180 kg
Poids de la colonne après la mise en service initiale de NRC-2	:	635 kg
Poids de graphite consommé	:	1180 - 635 = 545 kg (1202 lbs)
Nombre de fusions (15201 à 15205)	:	5
Durée de la mise en service initiale	:	14 hres 50 min.
Tonne d'acier coulé	:	394.8 tonnes
Taux de consommation, phase "A"	:	3.045 lbs/T
Taux de consommation, 3 phases	:	9.13 lbs/T

ELECTRODE NRC-1

Poids avant mise en service	:	615 kg
Poids de la colonne après la mise en service initiale de NRC-2	:	635 kg
Poids total de la nouvelle colonne (NRC-1 + NRC-2 usée et bout Stelco)	:	1250 kg
Poids de la colonne après la mise en service initiale de NRC-1	:	580 kg
Poids de graphite consommé	:	1250 - 580 = 670 kg (1477 lbs)
Durée de la mise en service initiale	:	20 hres 50 min.
Nombre de fusions (15212 à 15217)	:	6
Tonnes d'acier coulé	:	480 tonnes *
Taux de consommation, phase "A"	:	3.077 lbs/tonne
Taux de consommation, 3 phases	:	9.23 lbs/tonne

* Moyenne de 80 tonnes par fusion.

TABLEAU V

MESURES DE DIAMETRE SUR LES ELECTRODES APRES LEUR CONSOMMATION INITIALE

Niveau en dessous de électrode en acier pi.	Diamètres NRC-2 po.	Diamètres NRC-1 po.
0	18	17 5/8
1	17 1/4	16 3/4
2	16 11/16	15 15/16
3	16 9/16	15 13/16
4	16 3/8	14 7/8
5	16 1/8	16 3/32
6	15 15/16	15 11/16
7	15 11/16	14 11/16
8 } Section de	14 7/16	12 1/2
9 } l'électrode précédente	-	-

Note: Dans l'analyse de ces données on doit tenir compte de la durée en service indiquée dans le tableau 4.

TABLEAU VI

CONSOMMATION D'ELECTRODES ET TONNES D'ACIER COULEES
DURANT LA PERIODE DU 1er AU 17 MARS 1985
A L'ACIERIE STELCO, EDMONTON, ALBERTA

ELECTRODE INFORMATION
EDMONTON STEEL WORKS

GRAPHITE SECTIONS REPLACED, EC UNLESS NOTED AS

MARCH 17,1985

DATE	B FURNACE HEATS	A	B	C	TOT	E FURNACE HEATS	A	B	C	TOT	BUTT PCE LBS	EQV TOT	EC SECTIONS TAKEN OUT OF SERV	EC SECTIONS AVAIL FOR SERV	B FURNACE BILLET TONS	LBS /TON	LBS HOT MET TONS	LBS /TON	E FURNACE TONS	LBS /TON	LBS HOT MET TONS	LBS /TON	TOTAL BILLET TONS	LBS /TON	HOT MET TONS	LBS /TON
1	1	1	1	1	3	6	2	1	1	4	0	7	0	16	166.5	23.66	167.8	23.42	487.5	10.74	501.1	10.46	654.3	14.81	668.90	13.71
2	7	1	1	1	3	8	1	2	1	4	0	7	0	16	173.6	6.42	598.4	6.57	670.3	7.82	675.3	7.76	1263.7	7.21	1273.70	7.20
3	7	1	1	1	3	6	2	2	2	6	0	9	0	16	501.9	6.75	509.5	6.67	495.6	15.05	500.7	15.70	1077.5	10.94	1090.20	10.81
4	7	2	2	1	5	4	1	1	0	2	0	7	0	16	564.1	11.21	584.1	11.21	311.9	8.40	317.5	8.25	876.0	10.23	901.60	10.17
5	6	1	1	1	3	6	1	1 EC	2	4	0	7	0	16	503.1	7.81	513.0	7.[illegible]	[illegible]	10.72	492.8	10.[illegible]	991.9	9.24	1005.60	9.12
6	8	1	1	2	4	6	0	0	0	0	0	4	0	10	660.0	7.93	674.4	7.77	70.8	6.00	72.6	6.00	731.6	7.16	747.00	7.01
7	8	2	2	1	5	8	2	1 EC	2	5	0	10	1	17	685.6	9.35	698.9	9.48	658.5	9.95	662.1	9.84	1344.1	9.75	1353.00	9.68
8	7	1	1	2	4	6	1 EC	2	1 EC	4	0	8	1	19	520.4	8.91	594.9	8.81	301.2	17.60	453.0	11.57	639.6	11.70	1047.90	10.00
9	7	1	2	1	4	7	2	1	1 EC	4	0	8	1	18	566.5	9.25	588.1	8.91	574.5	9.12	549.5	9.54	1141.0	9.18	1137.60	9.21
10	8	1	1	1	3	8	1 EC	3	2	6	0	9	0	18	678.3	5.79	685.0	5.74	668.0	11.77	669.8	11.73	1346.3	8.76	1354.80	8.70
11	7	1	1	1	3	7	1	1	1	3	0	6	0	18	555.5	7.07	576.0	6.92	572.8	6.86	580.0	6.78	1128.3	6.97	1156.00	6.80
12	8	2	2	1	5	7	1	1	1	3	0	8	0	19	615.7	10.14	650.1	10.01	580.2	6.77	584.6	6.72	1225.9	8.35	1225.70	8.44
13	8	1	1	1	3	7	2	2	2	6	0	9	0	20	407.8	9.64	417.6	9.41	561.7	13.99	567.4	13.85	969.5	12.16	985.00	11.97
14	6	1	1	1	3	6	1	1	1	3	0	6	1	19	328.5	11.96	336.5	11.68	580.1	7.86	587.6	7.74	908.6	9.69	944.10	9.31
15	5	1	1	1	3	5	1	1	1	3	0	6	0	19	292.3	13.45	466.0	9.68	377.2	10.42	399.0	9.85	669.5	11.74	895.00	9.76
16	6	1	1	1	3	7	1	1	1	3	0	6	0	19	476.7	8.07	501.2	7.78	350.1	7.14	356.2	7.07	1026.8	7.58	1057.40	7.45
17	6	1	1	1	3	6	2	1	1	4	0	7	1	18	451.9	8.16	467.7	8.04	580.6	10.47	583.1	10.42	1032.5	9.33	990.80	9.26
18					0					0	0	0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
19					0					0	-	0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
20					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
21					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
22					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
23					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
24					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
25					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
26					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
27					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
28					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
29					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
30					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
31					0					0		0				[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]	0.0	[illegible]	0.00	[illegible]
TOTAL	187	28	0 21	0 19	0 68	164	22	0 22	0 20	0 64	0	124	5		8887	8.72	9965	8.67	8370	10.02	8572	9.76	17177	9.44	17428	9.20

K Pass Consumption = $\frac{22 \times 1210 \text{ lbs/ton}}{5273 \text{ ton}} \times 3 = 10.2$ lb/ton

(SUITE)

TABLEAU VI

DATE MARCH 17,1995

	B FURNACE				E FURNACE				SHOP
	A PHASE	B PHASE	C PHASE	TOTAL	A PHASE	B PHASE	C PHASE	TOTAL	TOTAL
HEATS TAPPED	107	107	107	107	104	104	104	104	210
[illegible]	20	21	19	60	22	22	20	64	124
[illegible]	5.33	5.10	5.63	1.73	4.73	4.73	5.23	1.13	1.70
[illegible]	26200	27510	24670	73600	22220	25520	24250	82510	162440
[illegible]	2936	2936	2936	6307	2790	2790	2790	6370	17177
BUTT LOSSES (FT)	0	7	6	13	0	0	0	0	21
BUTT LOSSES (LBS)	0	1050	900	1950	0	1250	0	1250	3150
ON FURNACE [illegible] (FT)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ON FURNACE BREAKAGE (LBS)	0	0	0	0	0	1350	0	1350	1350
OFF FURNACE BREAKAGE (FT)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OFF FURNACE BREAKAGE (LBS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CROPPING LOSSES (FT)	0	0	0	1	0	0	0	0	2
CROPPING LOSSES (LBS)	51	51	51	154	49	49	49	146	300
ELECTRODE CONSUMPTION (LBS/TON)	0.91	9.00	0.15	0.69	10.31	9.39	9.37	9.69	9.10
ELECTRODE CONSUMPTION (LBS/NET TON)				0.46				9.66	0.94
BUTT LOSSES (LBS/TON)	0.00	0.26	0.31	0.22	0.00	0.43	0.00	0.14	0.18
ON FURNACE BREAKAGE (LBS/TON)	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.16	0.00
OFF FURNACE BREAKAGE (LBS/TON)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CROPPING LOSSES (LBS/TON)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ELECTRODE USAGE (LBS/TON)	0.92	9.37	0.48	0.92	10.33	10.33	9.37	10.02	9.46
ELECTRODE USAGE (LBS/NET TON)				3.67				9.76	9.29

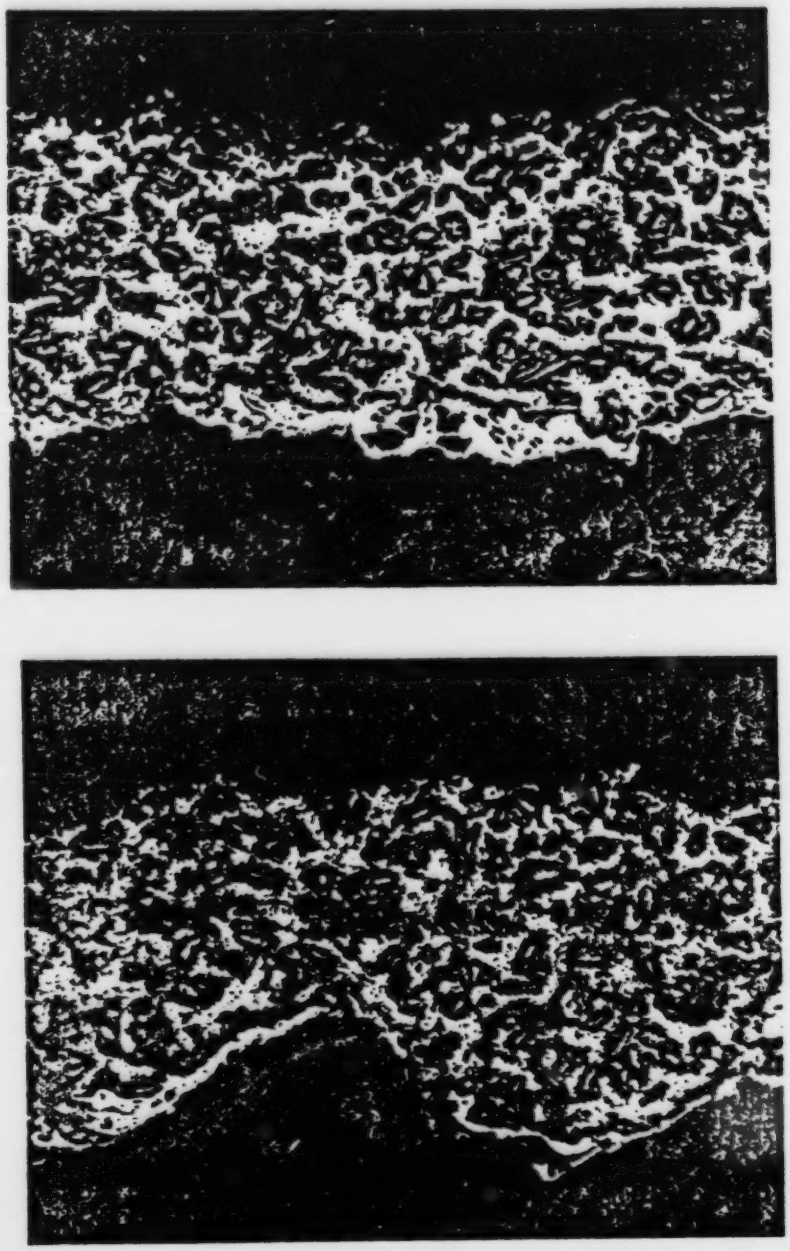


FIGURE I: REVETEMENT APPLIQUE SUR UNE SECTION D'ELECTRODE EN GRAPHITE DE 20 po.diam.X 32 po.long. LORS D'ESSAIS D'ORIENTATION A L'IGM. (125 X)

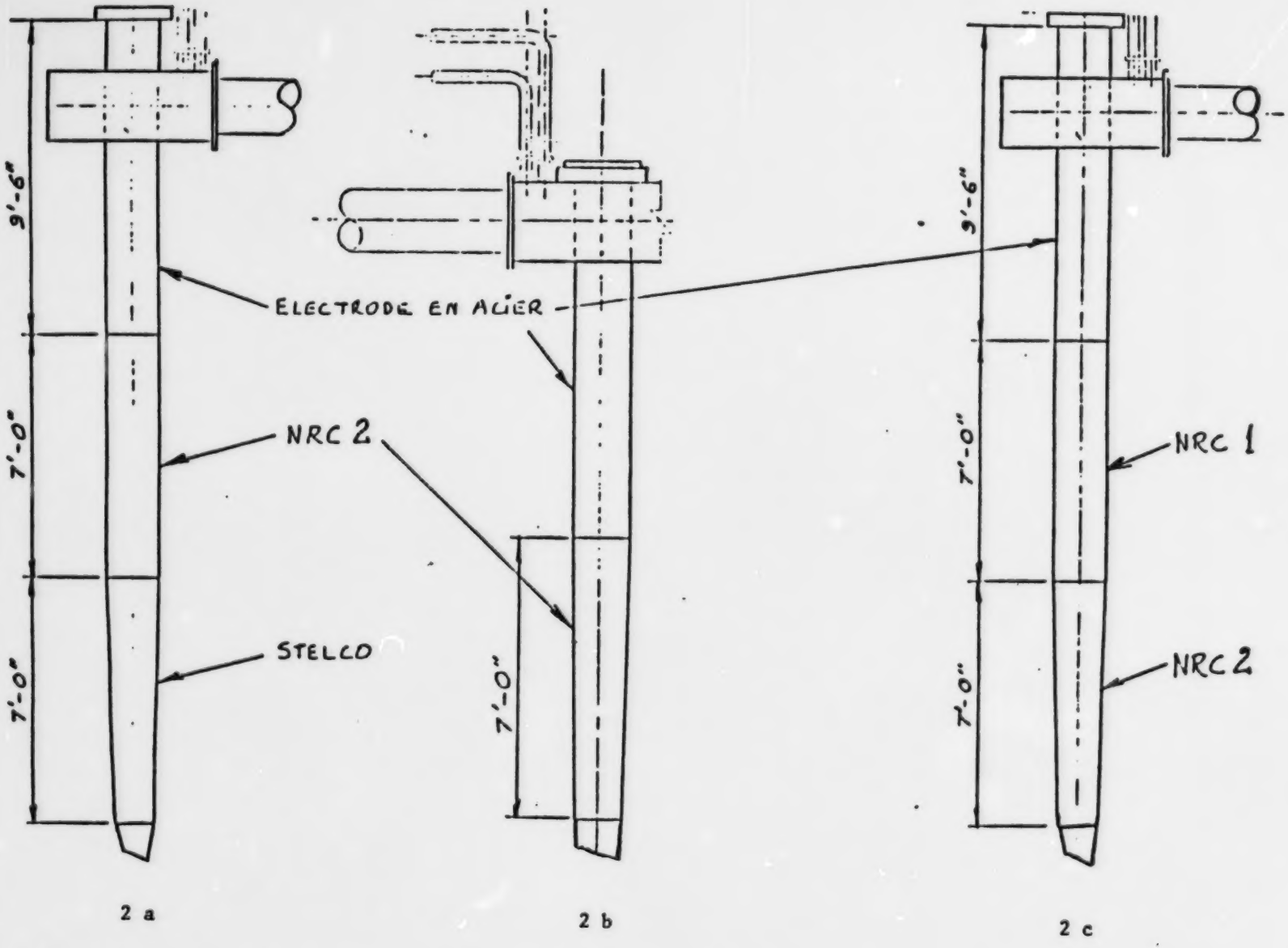


FIGURE 2 : SEQUENCE DE MONTAGE DES ELECTRODES NRC-2 ET NRC I SUR LA COLONNE D'ELECTRODES.